

CHAPITRE 12

LES INSTALLATIONS NUCLÉAIRES DE RECHERCHE ET INDUSTRIELLES DIVERSES



1 Les installations de recherche, laboratoires et autres installations en France P.336

- 1.1 Les réacteurs de recherche
- 1.2 Les laboratoires et installations industrielles diverses
 - 1.2.1 Les laboratoires
 - 1.2.2 Les accélérateurs de particules
 - 1.2.3 Les installations industrielles d'ionisation
- 1.3 Les installations d'entreposage de matières

2 Les actions de l'ASN dans le champ des installations de recherche: une approche graduée P.340

- 2.1 L'approche graduée en fonction des enjeux des installations
- 2.2 Les réexamens périodiques
- 2.3 Le retour d'expérience de Fukushima

Les installations nucléaires de recherche et industrielles diverses

Les [installations nucléaires de recherche ou industrielles](#) sont distinctes des installations nucléaires de base (INB) directement liées à la production d'électricité (réacteurs électronucléaires et installations du « cycle du combustible ») ou à la gestion des déchets. Elles sont, historiquement et majoritairement, exploitées par le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), mais également

par d'autres organismes de recherche (par exemple, l'Institut Laue-Langevin – ILL, l'organisation internationale ITER et le grand accélérateur national d'ions lourds – Ganil) ou par des industriels (par exemple, CIS bio international, Steris et Ionisos, qui exploitent des installations de production d'éléments radiopharmaceutiques ou des irradiateurs industriels).

1. Les installations de recherche, laboratoires et autres installations en France

1.1 Les réacteurs de recherche

Les [réacteurs de recherche](#) ont pour objectif de contribuer à la recherche scientifique et technologique et à l'amélioration de l'exploitation des centrales nucléaires. Certaines de ces installations produisent également des radionucléides⁽¹⁾ à usage médical. Ce sont des installations dans lesquelles une [réaction en chaîne](#) est créée et entretenue, permettant de produire un flux de neutrons plus ou moins dense utilisé, en premier lieu, à des fins d'expériences scientifiques. Contrairement aux centrales nucléaires, l'énergie produite par les réacteurs de recherche n'est pas récupérée, elle constitue un « sous-produit » évacué par refroidissement. Les quantités de substances radioactives mises en œuvre sont moindres que dans les réacteurs électronucléaires.

Un panorama des différents types de réacteurs de recherche présents en France et des principaux risques associés est présenté ci-après.

Dans leur dimensionnement, ces réacteurs prennent en compte des accidents de référence de fusion du cœur « sous eau » (défaillance dans le système de refroidissement) et de fusion du cœur « sous air » (après dénoyage du cœur ou lors d'une manutention). En outre, ils prennent en compte des accidents spécifiques à certains réacteurs de recherche.

Les réacteurs à faisceaux de neutrons

Les [réacteurs à faisceaux de neutrons](#) sont de type piscine. Ils sont principalement destinés à la recherche fondamentale (physique du solide, physico-chimie moléculaire, biochimie, etc.), en utilisant la méthode de diffraction neutronique pour l'étude de la matière. Les neutrons sont produits dans le réacteur, à différentes gammes d'énergie, et sont captés par des canaux dans le réacteur pour être acheminés vers des aires expérimentales.

En France, il n'existe plus qu'un réacteur à faisceaux de neutrons en fonctionnement : le réacteur à haut flux (RHF, INB 67) exploité par l'Institut Laue-Langevin (ILL) à Grenoble (puissance nominale limitée à 58 mégawatts thermiques – MWth). Le RHF fonctionne par cycle de 50 à 100 jours environ. Les principaux enjeux de sûreté sont la maîtrise de la réactivité, du refroidissement et du confinement. Le réacteur [Orphée](#) (INB 101), exploité par le CEA

à Saclay (puissance nominale limitée à 14 MWth), a été arrêté définitivement fin 2019.

Les réacteurs « d'essais »

Les [réacteurs « d'essais »](#) sont de type piscine. Ils sont destinés à l'étude de situations accidentelles. Ils permettent de reproduire, de façon contrôlée et à petite échelle, certains accidents postulés dans la démonstration de sûreté des réacteurs électronucléaires et de mieux connaître l'évolution de paramètres physiques lors des situations accidentelles.

En France, il existe un réacteur « d'essais » en fonctionnement : le réacteur [Cabri](#) (INB 24), exploité par le CEA à Cadarache. Ce réacteur, d'une puissance limitée à 25 MWth, permet de produire le flux neutronique nécessaire aux expériences. Les enjeux de sûreté sont semblables à ceux des autres réacteurs : la maîtrise de la réactivité du cœur nourricier, du refroidissement pour évacuer la puissance et le confinement des substances radioactives situées dans les crayons de combustibles composant le cœur.

Des modifications de l'installation ont été réalisées pour mettre en œuvre de nouveaux programmes de recherche afin d'étudier le comportement du combustible à haut taux de combustion lors de situations accidentelles d'insertion de réactivité. La divergence du réacteur dans sa nouvelle configuration a été autorisée en 2015. [L'ASN a autorisé, le 30 janvier 2018](#), après d'importants travaux de rénovation, le premier essai expérimental actif de la boucle à eau sous pression de l'installation.

Les réacteurs d'irradiation

Les [réacteurs d'irradiation](#) sont de type piscine. Ils permettent d'étudier les phénomènes physiques liés à l'irradiation de matériaux et de combustibles ainsi que leurs comportements. Les flux neutroniques obtenus par ces installations étant plus puissants que ceux présents dans un réacteur électronucléaire de type réacteur à eau sous pression (REP), les expériences permettent de réaliser des études de vieillissement de matériaux et composants soumis à un flux important de neutrons. Après irradiation, les échantillons font l'objet d'examens destructifs, notamment dans des laboratoires de recherche, afin de caractériser les effets de l'irradiation. Ils constituent donc un outil important pour la qualification des matériaux soumis à un flux neutronique.

1. L'utilisation des radionucléides offre des possibilités d'analyse et de traitements médicaux : pour le diagnostic des cancers par le biais de scintigraphies et tomographies, autorisant des examens poussés d'organes en fonctionnement ou pour le traitement des tumeurs grâce à la radiothérapie, qui emploie les rayonnements des radionucléides pour détruire les cellules cancéreuses (voir chapitre 7).

Les installations de recherche en France

▲ Réacteurs de recherche

Cadarache: Cabri
Grenoble: RHF

▲ Réacteurs de recherche en construction

Cadarache: ITER, RJH

■ Accélérateurs de particules

Caen: Ganil
Genève: CERN

● Laboratoires et installations industrielles diverses

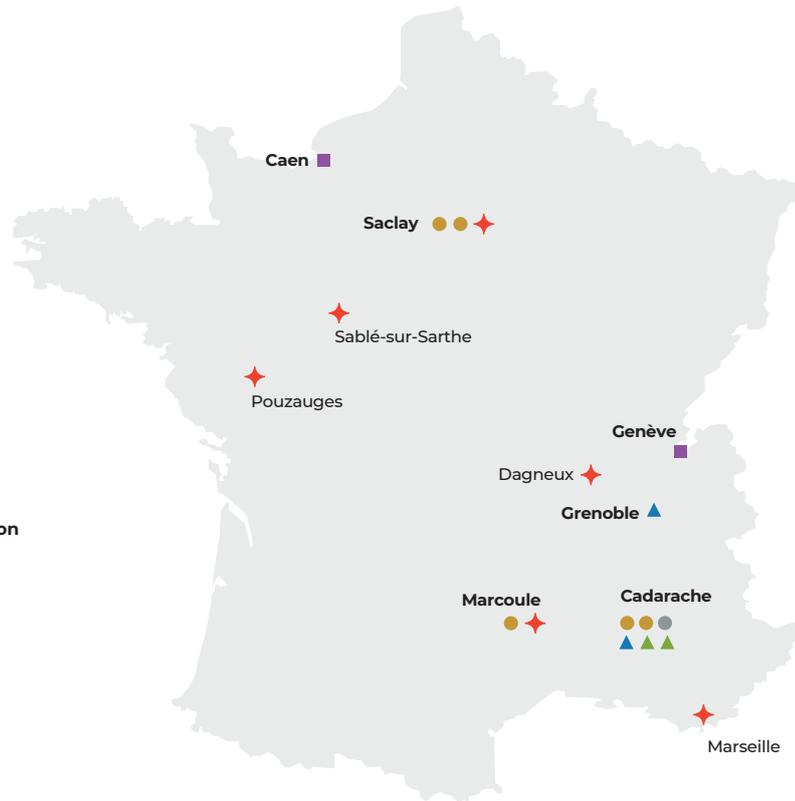
Cadarache: LECA/STAR, Lefca
Saclay: LECI, UPRA
Marcoule: Atalante

● Entreposage de matières

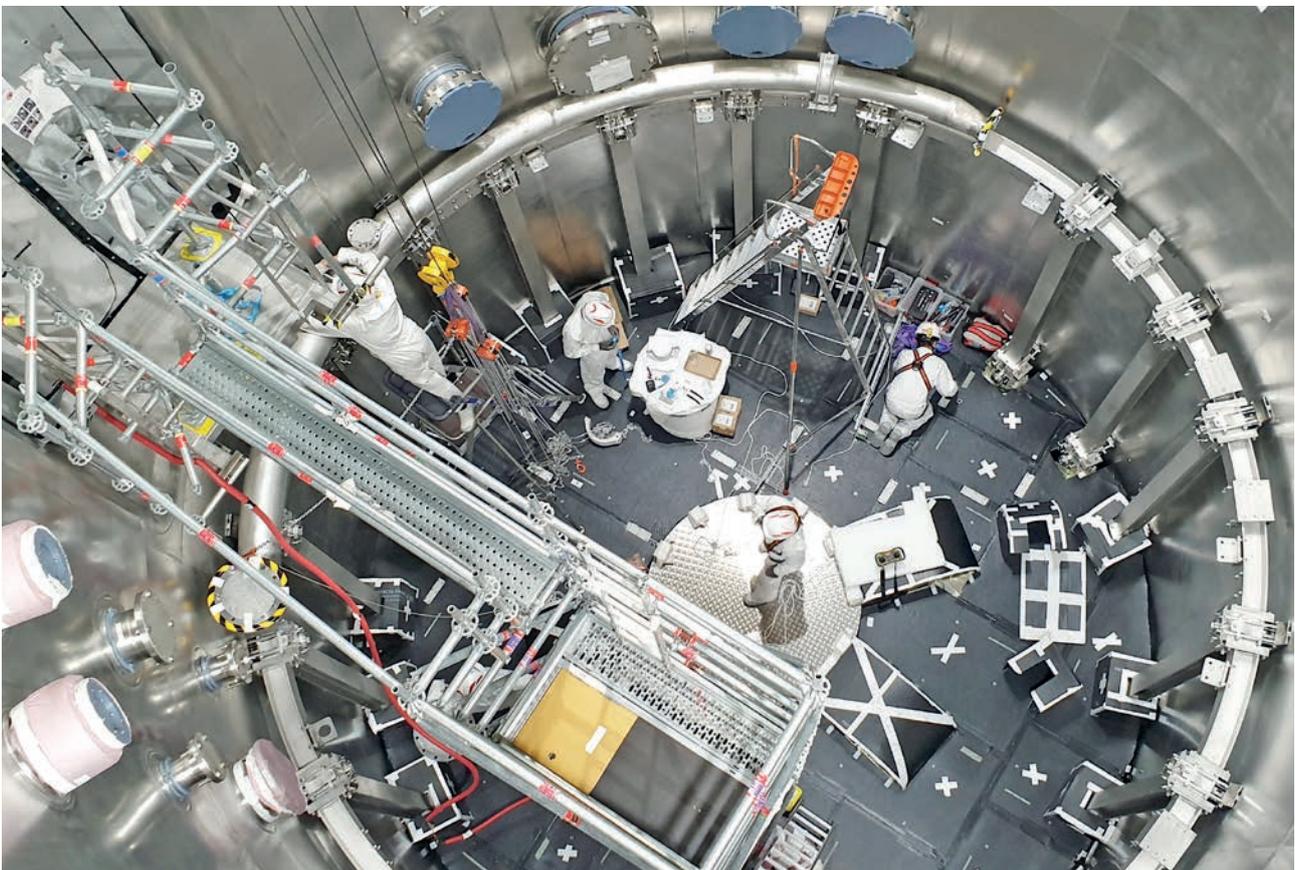
Cadarache: Magenta

◆ Installations industrielles d'ionisation

Dagneux, Pouzauges,
Sablé-sur-Sarthe: Ionisos
Marseille: Gammaster
Marcoule: Gammatec
Saclay: Poséidon



Réacteur nucléaire de recherche Jules Horowitz (RJH) – montage du plancher de la piscine



En outre, ces réacteurs de recherche sont des sources de production significatives de certains radionucléides à usage médical.

La puissance de ces réacteurs varie de quelques dizaines à une centaine de MWth. Ces réacteurs fonctionnent par cycle d'environ 20 à 30 jours.

En France, il n'existe plus de réacteurs d'irradiation technologique en fonctionnement : le réacteur [Osiris](#) (INB 40), implanté à Saclay, est définitivement arrêté depuis 2015. Le réacteur [Jules Horowitz](#) (RJH, INB 172), destiné à le remplacer, est en cours de construction à Cadarache.

Les réacteurs à fusion

Contrairement aux réacteurs de recherche décrits précédemment, qui mettent en œuvre des réactions de fission nucléaire, certaines installations de recherche visent à produire des réactions de fusion nucléaire.

En France, l'installation [ITER](#) (INB 174) est un projet international de [réacteur à fusion](#) en cours de construction à Cadarache. L'objectif visé par ITER est la démonstration scientifique et technique de la maîtrise de la fusion nucléaire par confinement magnétique d'un plasma deutérium-tritium, lors d'expériences de longue durée avec une puissance significative (500 MW pendant 400 secondes).

Parmi les principaux enjeux de maîtrise des risques et inconvénients de ce type d'installation, on peut citer en particulier la maîtrise du confinement des matières radioactives (du tritium en particulier), les risques d'exposition aux rayonnements ionisants (forte activation des matériaux sous flux neutronique intense) ou l'évacuation de la puissance résiduelle des compartiments du réacteur (en particulier lors des opérations de maintenance).

1.2 Les laboratoires et installations industrielles diverses

1.2.1 Les laboratoires

Les [laboratoires](#) menant des activités de recherche et de développement pour la filière nucléaire contribuent à l'approfondissement des connaissances pour la production électronucléaire, le « cycle du combustible » ou encore la gestion des déchets. Ils peuvent aussi produire des radionucléides à usage médical.

Principes et enjeux de sûreté

Les principaux enjeux inhérents à ces installations sont la protection des personnes contre les rayonnements ionisants, la prévention de la dispersion de substances radioactives, la maîtrise des risques d'incendie et la maîtrise de la réaction en chaîne (criticité).

Les principes de conception de ces laboratoires sont similaires. Des zones dédiées, dénommées « cellules blindées », permettent la manipulation de substances radioactives et la réalisation d'expérimentations, à l'aide de moyens de manutention adaptés. Ces cellules blindées sont dimensionnées avec des épaisseurs de murs et de vitres importantes, afin de protéger les opérateurs contre les rayonnements ionisants. Elles permettent également le confinement des matières radioactives, grâce à un système de ventilation et de filtres spécifiques. Le risque de criticité est maîtrisé au travers de consignes strictes pour la manipulation, l'entreposage et le suivi des matériaux étudiés. Enfin, le risque d'incendie est géré à l'aide de dispositifs techniques (portes coupe-feu, clapets, détecteurs, équipements d'intervention, etc.) et d'une organisation limitant la présence de matières calorifiques. La formation du personnel et une organisation rigoureuse sont, par ailleurs, des facteurs essentiels pour garantir la maîtrise de ces quatre principaux risques.

Les laboratoires d'essais sur les combustibles et les matériaux

Une partie de ces laboratoires, exploités par le CEA, permet de réaliser diverses expérimentations sur les matériaux ou combustibles irradiés. Certains programmes de recherche ont, par exemple, pour objectif de permettre un taux de combustion plus élevé des combustibles ou d'améliorer leur sûreté. Certaines de ces installations sont également exploitées pour des activités de préparation et de reconditionnement de combustibles.

Appartiennent à cette catégorie de laboratoires :

- le laboratoire d'examen des combustibles actifs ([LECA](#)), situé à Cadarache, et son extension, la station de traitement, d'assainissement et de reconditionnement ([STAR](#)), qui constitue l'INB 55 ;
- le laboratoire d'études et de fabrication de combustibles nucléaires avancés ([Lefca](#), INB 123), situé à Cadarache ;
- le laboratoire d'essais sur combustibles irradiés ([LECI](#), INB 50), situé à Saclay.

Les laboratoires de recherche et de développement (R&D)

Des activités de R&D sont aussi menées pour l'industrie nucléaire dans des laboratoires sur les nouvelles technologies, notamment concernant le développement de nouveaux combustibles, leur recyclage ou encore la gestion des déchets ultimes.

L'atelier alpha et le laboratoire pour les analyses de transuraniens et études de retraitement ([Atalante](#), INB 148), situés à Marcoule et exploités par le CEA, assurent un appui technique à Orano Cycle pour optimiser le fonctionnement des usines de La Hague. Des travaux expérimentaux y sont menés pour la qualification du comportement des matrices de verres nucléaires afin de garantir les propriétés de confinement sur le long terme des colis de déchets de haute activité.

L'usine de production de radioéléments artificiels

L'usine de production de radioéléments artificiels ([UPRA](#)), située à Saclay et exploitée par CIS bio international, est une installation nucléaire conçue sur les mêmes principes qu'un laboratoire (zones dédiées permettant la manipulation et des expérimentations de substances radioactives, à l'aide de moyens de manutention adaptés), destinée à la fois à mener des activités de recherche et à mettre au point des radionucléides à usage médical. CIS bio international est une filiale du groupe Curium, fabricant de produits radiopharmaceutiques.

1.2.2 Les accélérateurs de particules

Certains [accélérateurs de particules](#) sont des INB. Ces installations utilisent des champs électriques ou magnétiques pour accélérer des particules chargées. Les faisceaux de particules accélérées produisent des champs importants de rayonnements ionisants, activant les matériaux en contact, qui émettent alors des rayonnements ionisants, même après l'arrêt des faisceaux. L'exposition aux rayonnements ionisants constitue donc le risque principal de ce type d'installations.

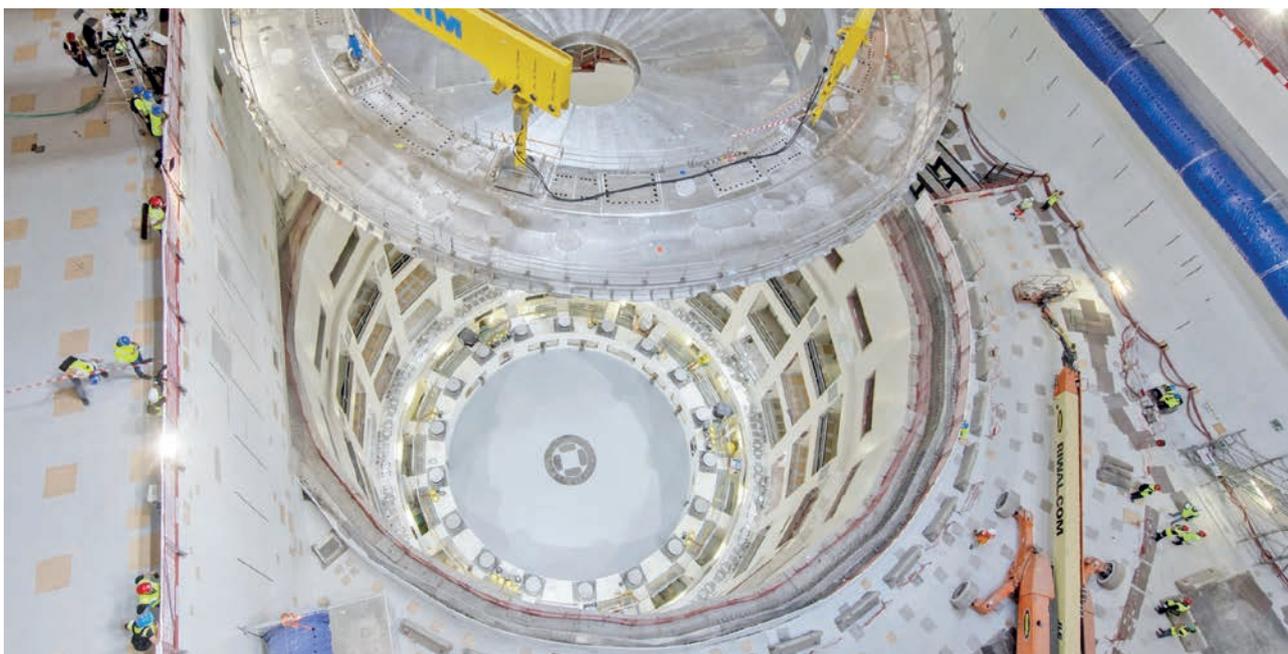
Le Ganil

Le grand accélérateur national d'ions lourds ([Ganil](#), INB 113), situé à Caen, permet de mener des travaux de recherche fondamentale et appliquée, notamment en physique atomique et en physique nucléaire. Cette installation de recherche produit, accélère et distribue des faisceaux d'ions à différents niveaux d'énergie pour étudier la structure de l'atome.

Le CERN

Située entre la France et la Suisse, le [CERN](#) est une organisation internationale dont la mission est de mener à bien des programmes de recherche fondamentale à caractère purement scientifique concernant les particules de haute énergie. Le CERN

Installation ITER – base du cryostat en cours de descente dans le Tokamak



n'exploite pas un seul accélérateur de particules pour étudier la structure de la matière, mais toute une chaîne de dispositifs (appelés parfois injecteurs). Cette chaîne comprend actuellement plusieurs accélérateurs linéaires et circulaires. Du fait de sa nature extraterritoriale, le CERN fait l'objet de [modalités de vérifications particulières](#) de la part des autorités de sûreté française et suisse.

1.2.3 Les installations industrielles d'ionisation

Les [installations industrielles d'ionisation](#), dénommées irradiateurs, utilisent les rayons gamma émis par des sources scellées de cobalt-60 afin d'irradier des cibles dans des cellules d'irradiation. Ces cellules d'irradiation sont dimensionnées avec des épaisseurs de murs et de vitres importantes, afin de protéger les opérateurs contre les rayonnements ionisants. Les sources scellées sont soit en position basse, entreposées en piscine sous une épaisseur d'eau qui garantit la protection des travailleurs, soit en position haute pour irradier le matériel cible. L'exposition du personnel aux rayonnements ionisants constitue le risque principal dans ces installations.

Les principales applications des irradiateurs sont la stérilisation de dispositifs médicaux, de produits agroalimentaires et de matières premières pharmaceutiques. Les irradiateurs peuvent aussi permettre l'étude de comportement des matériaux sous rayonnements ionisants, notamment pour qualifier des matériaux pour l'industrie nucléaire.

Ces irradiateurs sont utilisés par :

- le groupe Ionisos, qui exploite trois installations situées à [Dagneux](#) (INB 68), [Pouzauges](#) (INB 146) et [Sablé-sur-Sarthe](#) (INB 154) ;
- le groupe Steris, qui exploite les installations [Gammaster](#) (INB 147) et [Gammatec](#) (INB 170), à Marseille et à Marcoule ;
- le CEA, qui exploite l'irradiateur [Poséidon](#) (INB 77) sur le site de Saclay.

1.3 Les installations d'entreposage de matières

Les installations d'entreposage de matières, exploitées par le CEA, sont essentiellement consacrées à la conservation de matières uranifères et plutonifères fissiles non irradiées (ou faiblement irradiées) provenant d'autres installations du CEA. Cette activité permet d'alimenter les laboratoires (Atalante, Lefca, etc.) en fonction des expériences. Elles sont devenues, plus récemment, un exutoire temporaire des matières fissiles présentes jusque-là dans des installations désormais à l'arrêt, telles que les réacteurs de recherche (Éole, Minerve, Osiris, Masurca, etc.).

Principes et enjeux de sûreté

Les principaux enjeux inhérents à ces installations sont la prévention de la dispersion de substances radioactives et la maîtrise de la réaction en chaîne (criticité).

La sûreté de ces installations repose sur une succession de barrières physiques statiques (murs et portes des locaux et des bâtiments) pour prévenir la dispersion de substances radioactives. Lors de la réalisation d'opérations sur ces substances, le confinement statique est, par ailleurs, assuré par des dispositifs (boîte à gants, cellule blindée) dans lesquels sont réalisées ces opérations. Ce confinement statique est complété par un confinement dynamique constitué, d'une part, d'une cascade de dépressions entre les locaux présentant des risques de dissémination de substances radioactives, d'autre part, d'une filtration des effluents gazeux rejetés dans l'environnement. La réaction en chaîne est maîtrisée au travers de consignes strictes pour la manipulation, l'entreposage et le suivi des matériaux entreposés.

Les installations d'entreposage dédiées

L'installation [Magenta](#) (INB 169), mise en service en 2011, exploitée par le CEA sur son site de Cadarache, est dédiée à l'entreposage de matières fissiles non irradiées ainsi qu'à la caractérisation, par des mesures non destructives, des matières nucléaires réceptionnées. Elle remplace notamment le magasin central des matières fissiles ([MCMF](#), INB 53), définitivement arrêté fin 2017.

Les locaux d'entreposage de matières dans les INB

D'autres locaux d'entreposage de matières radioactives, situés au sein d'une INB, sont autorisés à entreposer des matières radioactives sur site, mais dans des quantités bien inférieures à

celles entreposées dans Magenta. C'est le cas, par exemple, de l'INB 55, dénommée [STAR](#), qui entrepose des combustibles usés, irradiés à la suite d'un retraitement et/ou d'un conditionnement.

2. Les actions de l'ASN dans le champ des installations de recherche : une approche graduée

2.1 L'approche graduée en fonction des enjeux des installations

Le [régime des INB](#) s'applique à plus d'une centaine d'installations en France. Ce régime concerne des installations diverses présentant des enjeux de sûreté nucléaire, de radioprotection et de protection de l'environnement très différents : réacteurs nucléaires de recherche ou électronucléaires, entreposage ou stockage de déchets radioactifs, usines de fabrication ou de traitement de combustibles, laboratoires, installations industrielles d'ionisation, etc.

Les principes de sûreté, appliqués aux installations nucléaires de recherche ou industrielles, sont similaires à ceux adoptés pour les réacteurs électronucléaires et les installations du « cycle du combustible », tout en tenant compte de leurs spécificités en matière de risques et d'inconvénients. L'ASN a mis en œuvre une approche proportionnée à l'importance des risques ou inconvénients présentés par l'installation. À cet égard, l'ASN a réparti les installations qu'elle contrôle en trois catégories, de 1 à 3 par ordre décroissant d'importance des risques et inconvénients qu'elles présentent pour les intérêts mentionnés à l'article L. 593-1 du code de l'environnement ([décision n° 2015-DC-0523 de l'ASN du 29 septembre 2015](#)). Cette classification des INB permet d'adapter le contrôle des installations et ainsi renforcer celui des installations à enjeux importants, en matière d'inspections et d'instructions menées par l'ASN. À titre d'exemples, les réacteurs de recherche RHF et Cabri sont respectivement classés en catégories 1 et 2, et l'accélérateur de particules Ganil est classé en catégorie 3.

2.2 Les réexamens périodiques

Le [code de l'environnement](#) impose aux exploitants de réaliser, tous les 10 ans, un [réexamen périodique](#) de leur installation. Ce réexamen périodique permet d'apprécier la situation de l'installation au regard des règles qui lui sont applicables et d'actualiser les risques ou inconvénients inhérents à l'installation en tenant compte notamment de son état, de l'expérience acquise au cours de l'exploitation, de l'évolution des connaissances et des règles applicables aux installations similaires. Ils sont ainsi l'occasion de remises à niveau ou d'améliorations dans des domaines où les exigences de sûreté ont évolué, notamment la résistance au séisme, la protection contre l'incendie et le confinement.

À ce jour, l'ensemble des installations nucléaires de recherche et installations diverses a fait l'objet d'un réexamen périodique. En effet, pour les installations qui n'avaient pas encore fait l'objet d'un premier réexamen, le [décret du 2 novembre 2007](#) imposait aux exploitants de remettre, au plus tard en novembre 2017, un premier rapport de réexamen. Par la suite, l'ASN a mis en œuvre un mode d'instruction adapté aux enjeux des installations : certaines installations méritent une attention particulière au regard des risques qu'elles présentent ; d'autres installations, présentant moins d'enjeux, font l'objet d'inspections et d'instructions dont l'ampleur est adaptée. L'instruction technique de l'ensemble de ces rapports de réexamen nécessitera plusieurs années compte tenu des spécificités propres à chacune des installations concernées.

À titre d'exemple, le CEA a transmis, le 1^{er} novembre 2017, 16 rapports de réexamen périodique à l'ASN. Le CEA a, par la suite, informé l'ASN qu'il souhaite lisser la charge liée à ces réexamens, au regard de son organisation et de ses moyens, en anticipant la remise de rapport de réexamen de certaines installations dans la prochaine décennie. L'ASN est favorable à cette démarche.

L'ASN a poursuivi en 2020 des inspections sur site consacrées spécifiquement au réexamen périodique des installations. Elle constate que le CEA s'approprie mieux désormais les problématiques liées au réexamen, grâce à la mise en œuvre, sur chaque site, d'une organisation transverse dédiée à ce processus.

2.3 Le retour d'expérience de Fukushima

À la suite de l'accident de la centrale nucléaire de [Fukushima](#), l'ASN a lancé une démarche d'évaluation complémentaire de sûreté ([ECS](#)) des installations nucléaires. La démarche consiste à évaluer les marges de sûreté dont disposent les installations pour résister à des pertes d'alimentation électrique ou de refroidissement et à des agressions naturelles extrêmes.

L'ASN a prescrit en mai 2011 de procéder à des ECS pour les INB présentant les risques les plus importants au regard de l'accident de Fukushima (lot 1). Pour les INB du CEA (Masurca, Osiris et RJH) et du RHF de l'ILL du lot 1, l'ASN a prescrit, en 2012, au vu des conclusions des ECS, la mise en place de dispositions organisationnelles et matérielles adaptées, appelées « [noyau dur](#) ». L'ASN constate notamment que des travaux d'ampleur sur le réacteur de recherche RHF ont été menés rapidement de manière satisfaisante, avec notamment la construction de nouveaux locaux de gestion de crise robustes, un renforcement de l'étanchéité du bâtiment réacteur en cas d'inondation extrême et l'implantation ou la modification de circuits de sauvegarde permettant de prévenir des risques liés à la perte de refroidissement.

La démarche des ECS s'est poursuivie pour un deuxième groupe de 22 installations (lot 2) présentant des enjeux de sûreté moins importants. Parmi elles se trouvent l'UPRA, des installations de recherche du CEA (Atalante, Cabri, LECA et Orphée) et ITER. Les moyens de gestion de crise des centres du CEA de Cadarache, de Marcoule et de Saclay ont été examinés dans le cadre des ECS de ce deuxième lot. L'ASN a prescrit en 2015 la mise en œuvre de nouveaux moyens pour la gestion de crise, notamment la construction ou le renforcement de centres de crise « noyau dur » résistants à des conditions climatiques extrêmes. Elle constate que ces projets ont pris du retard sur l'ensemble des centres du CEA, pour des raisons diverses et que les échéances initialement prescrites n'ont pas été respectées. Concernant le centre de Cadarache, l'ASN a accepté la demande de report d'échéance de construction des bâtiments de gestion de crise, dans la mesure où le risque principal pris en compte pour le site est associé au réacteur de recherche RJH, dont la mise en service est retardée. Pour le centre de Saclay, après mise en demeure de l'ASN le 6 septembre 2019, le CEA a transmis le dossier justifiant le dimensionnement des futurs bâtiments de gestion de crise en décembre 2019, pour une mise en service prévue fin 2021. Enfin, pour le centre de Marcoule, l'ASN est toujours en attente des

compléments sur la tenue des bâtiments actuels de gestion de crise (confinement, accessibilité, opérabilité, habitabilité, etc.).

Enfin, parmi la trentaine d'autres installations LUDD (laboratoires, usines, démantèlement et déchets) présentant les enjeux de sûreté les plus faibles (lot 3), l'ASN a prescrit, en 2013, aux installations du CEA (Lefca, LECI, Poséidon, Magenta et STAR), au Ganil et aux irradiateurs du groupe Ionisos et Steris, un calendrier de remise des rapports ECS qui s'étendait jusqu'en 2020. Pour ces installations, les ECS seront instruites dans le cadre du réexamen périodique, comme c'est le cas actuellement pour les irradiateurs du groupe Ionisos.